



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **11223575 A**

(43) Date of publication of application: **17.08.99**

(51) Int. Cl.

G01M 11/00

G02F 1/35

H04B 10/02

H04B 10/18

H04J 3/14

H04L 25/02

(21) Application number: **10229659**

(22) Date of filing: 14.08.98

(30) Priority: 01.12.97 JP 09330553

(71) Applicant: **NIPPON TELEGR & TELEPH
CORP <NTT>**

(72) Inventor: **TAKARA HIDEHIKO
SHIYAKE ITSUPEI
YAMABAYASHI YOSHIAKI**

(54) QUALITY MONITOR FOR LIGHT SIGNAL

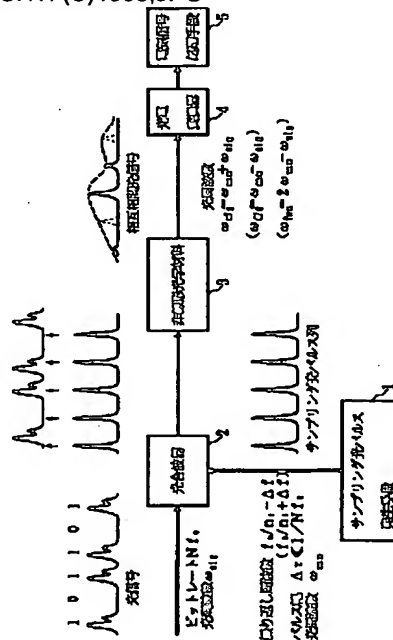
(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a quality monitor in which a signal-to-noise ratio can be monitored by a single circuit irrespective of the bit rate of a signal, to be measured, by installing an optical pulse generation means or the like which generates a sampling optical pulse train which comprises a specific repetitive frequency.

SOLUTION: A sampling optical pulse generation means 1 generates a sampling optical pulse train at a repetitive frequency in which the integral number fraction and the offset frequency Δf (Hz) of a fundamental frequency f_0 (Hz) are added or subtracted. An optical synthesizer 2 synthesizes a light signal with sampling optical pulses so as to be input to a nonlinear optical material 3. The nonlinear optical material 3 generates a cross-correlation light signal between the light signal and the sampling optical pulses. The cross-sectional light signal is converted into an electric signal by a photoelectric converter 4 so as to be input to an electric-signal processing means 5. In the electric-signal processing means 5, the peak value of a cross-sectional electric signal is detected and analyzed, and a signal-to-noise-ratio factor is found. When the value of the

signal-to-noise-ratio factor is found, the quality of the transmitted light signal is inspected.

COPYRIGHT: (C)1999,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-223575

(43) 公開日 平成11年(1999) 8月17日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

G 0 1 M 11/00

G 0 1 M 11/00

Z

G 0 2 F 1/35

G 0 2 F 1/35

H 0 4 B 10/02

H 0 4 J 3/14

Z

10/18

H 0 4 L 25/02

3 0 2 D

H 0 4 J 3/14

H 0 4 B 9/00

M

審査請求 未請求 請求項の数18 O L (全 23 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平10-229659

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号

(22) 出願日 平成10年(1998) 8月14日

(72) 発明者 高良 秀彦

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本

電信電話株式会社内

(31) 優先権主張番号 特願平9-330553

(32) 優先日 平9(1997)12月1日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(72) 発明者 社家 一平

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本

電信電話株式会社内

(72) 発明者 山林 由明

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本

電信電話株式会社内

(74) 代理人 弁理士 古谷 史旺

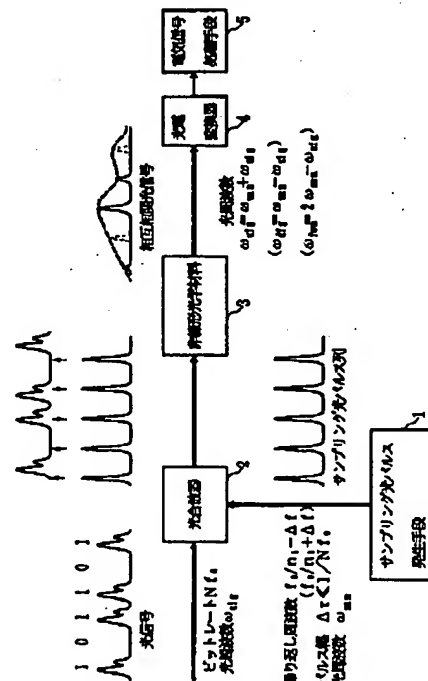
(54) 【発明の名称】 光信号品質モニタ

(57) 【要約】

【課題】 光信号のビットレートによらず、単一の測定系で光信号の品質検査を行う。また、数十Gbit/s 以上のビットレートの光信号にも対応する。さらに、伝送路の光信号の信号対雑音比に与える影響を低減する。

【解決手段】 繰り返し周波数 $f_0/n_1 - \Delta f$ (Hz) を有するサンプリング光パルス列と、ビットレート $N \cdot f_0$ (bit/s) の光信号を合波して非線形光学材料に入力し、非線形光学効果により生じる相互相関光信号を出力させ、これを相互相関電気信号に変換し、電気信号処理手段でこの相互相関電気信号より光強度のヒストグラムを測定し、そのヒストグラムを構成するサンプリング点から「レベル1」と「レベル0」それぞれのある平均時間内での平均値レベルの差と、「レベル1」と「レベル0」それぞれの当該平均時間内での標準偏差値の和の比を信号対雑音比係数として求め、光信号の品質を検査する。

本発明の光信号品質モニタの構成例



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基本クロック周波数 f_0 (Hz) の整数分の 1 とわずかに異なる繰返し周波数 $f_0/n_1 - \Delta f$ (Hz) または $f_0/n_1 + \Delta f$ (Hz) を有するサンプリング光パルス列を発生するサンプリング光パルス発生手段と、

前記基本クロック周波数 f_0 (Hz) の整数倍のビットレート $N \cdot f_0$ (bit/s) を有する光信号と、前記サンプリング光パルス列とを合波する光合波器と、

前記光合波器で合波された前記光信号および前記サンプリング光パルス列を入力し、非線形光学効果により生じる相互相関光信号を出力することで前記光信号を前記サンプリング光パルス列でサンプリングする非線形光学材料と、

前記相互相関光信号を相互相関電気信号に変換する光電変換器と、

前記相互相関電気信号より光強度のヒストグラムを測定し、その光強度ヒストグラムを構成するサンプリング点から「レベル 1」と「レベル 0」それぞれのある平均時間内での平均値レベルの差と、「レベル 1」と「レベル 0」それぞれの当該平均時間内での標準偏差値の和の比を信号対雑音比係数として求め、前記光信号の品質を検査する電気信号処理手段とを備えたことを特徴とする光信号品質モニタ。

【請求項 2】 基本クロック周波数 f_0 (Hz) の整数倍のビットレート $N \cdot f_0$ (bit/s) を有する光信号を電気信号に変換する光電変換器と、

前記基本クロック周波数 f_0 (Hz) の整数分の 1 とわずかに異なる繰返し周波数 $f_0/n_1 - \Delta f$ (Hz) または $f_0/n_1 + \Delta f$ (Hz) のタイミングクロックを発生するタイミングクロック発生手段と、

前記タイミングクロックで前記電気信号のレベルをサンプリングしてそのヒストグラムを測定し、そのヒストグラムを構成するサンプリング点から「レベル 1」と「レベル 0」それぞれのある平均時間内での平均値レベルの差と、「レベル 1」と「レベル 0」それぞれの当該平均時間内での標準偏差値の和の比を信号対雑音比係数として求め、前記光信号の品質を検査する電気信号処理手段とを備えたことを特徴とする光信号品質モニタ。

【請求項 3】 請求項 1 または請求項 2 に記載の光信号品質モニタにおいて、

電気信号処理手段は、ヒストグラムを構成するサンプリング点のうち、あらかじめ定めた閾値レベルより高い点群を「レベル 1」とし、また別途定めた閾値レベルより低い点群を「レベル 0」とし、「レベル 1」と「レベル 0」それぞれのある平均時間内での平均値レベルの差 μ と、「レベル 1」と「レベル 0」それぞれの当該平均時間内での標準偏差値の和 $(\sigma_1 + \sigma_0)$ の比

$$Q = \mu / (\sigma_1 + \sigma_0)$$

を信号対雑音比係数として求める構成であることを特徴

とする光信号品質モニタ。

【請求項 4】 請求項 3 に記載の光信号品質モニタにおいて、

電気信号処理手段は、あらかじめ特定の時間内に測定したサンプリング点からレベルのヒストグラムを求め、このヒストグラムのレベル最大値からサンプリング点数を積分し、全サンプリング点数を N_{total} 、光信号のデューティ比（パルス幅とタイムスロットの比）を D 、マーク率（デジタル伝送における「レベル 1」の発生確率）を M としたときに、

$$N_{middle} = N_{total} \times D \times M$$

で求まるサンプリング点数 N_{middle} と等しくなったときのレベルを中間値 μ_m とし、

前記ヒストグラムにおいてレベル最小値側から最初にサンプリング点数がピーク値となるレベルを「レベル 0」の平均値 μ_0 とし、

「レベル 0」および「レベル 1」の閾値レベル μ_{th0} 、 μ_{th1} を

$$\mu_{th0} = 2\alpha\mu_m + (1-2\alpha)\mu_0$$

$$\mu_{th1} = 2(1-\alpha)\mu_m - (1-2\alpha)\mu_0$$

$$0.1 < \alpha < 0.4$$

とすることを特徴とする光信号品質モニタ。

【請求項 5】 請求項 1 または請求項 2 に記載の光信号品質モニタにおいて、

電気信号処理手段は、ヒストグラムを構成するサンプリング点のうち、あらかじめ定めた 2 つの領域のうち高いレベル領域内の点群を「レベル 1」とし、低いレベル領域内の点群を「レベル 0」とし、「レベル 1」と「レベル 0」それぞれのある平均時間内での平均値レベルの差 μ' と、「レベル 1」と「レベル 0」それぞれの当該平均時間内での標準偏差値の和 $(\sigma_1 + \sigma_0)$ の比

$$Q = \mu' / (\sigma_1 + \sigma_0)$$

を信号対雑音比係数として求める構成であることを特徴とする光信号品質モニタ。

【請求項 6】 請求項 5 に記載の光信号品質モニタにおいて、

電気信号処理手段は、あらかじめ特定の時間内に測定したサンプリング点からレベルのヒストグラムを求め、このヒストグラムのレベル最大値からサンプリング点数を積分し、全サンプリング点数を N_{total} 、光信号のデューティ比（パルス幅とタイムスロットの比）を D 、マーク率（デジタル伝送における「レベル 1」の発生確率）を M としたときに、

$$N_{middle} = N_{total} \times D \times M$$

で求まるサンプリング点数 N_{middle} と等しくなったときのレベルを中間値 μ_m とし、

前記ヒストグラムにおいてレベル最小値側から最初にサンプリング点数がピーク値となるレベルを「レベル 0」の平均値 μ_0 とし、

「レベル 0」および「レベル 1」の閾値レベル μ_{th0} 、

μ_{th1} を

$$\mu_{th0} = 2\alpha\mu_m + (1-2\alpha)\mu_0$$

$$\mu_{th1} = 2(1-\alpha)\mu_m - (1-2\alpha)\mu_0$$

$$0.1 < \alpha < 0.4$$

とし、

前記特定の時間内に測定したサンプリング点の中でレベルの最大値と最小値をそれぞれ μ_{max} 、 μ_{min} とし、

「レベル 0」の範囲を μ_{min} 以上 μ_{th0} 以下とし、「レベル 1」の範囲を μ_{th1} 以上 μ_{max} 以下とすることを特徴とする光信号品質モニタ。

【請求項 7】 請求項 1 に記載の光信号品質モニタにおいて、

相互相関光信号は、非線形光学効果により発生させた和周波光、または差周波光、または四光波混合光であることを特徴とする光信号品質モニタ。

【請求項 8】 請求項 1 に記載の光信号品質モニタにおいて、

サンプリング光パルス発生手段は、

伝送路から分岐した光信号の基本クロック周波数 f_0 (Hz) の整数分の 1 からオフセット周波数 Δf (Hz) を加減した周波数 $f_0/n_1 - \Delta f$ (Hz) または $f_0/n_1 + \Delta f$ (Hz) のタイミングクロックを発生するタイミングクロック発生手段と、

前記タイミングクロックを用いて、繰り返し周波数 $f_0/n_1 - \Delta f$ (Hz) または $f_0/n_1 + \Delta f$ (Hz) で、パルス幅が光信号のタイムスロットより十分に狭いサンプリング光パルス列を発生する短光パルス発生手段とを備えたことを特徴とする光信号品質モニタ。

【請求項 9】 請求項 2 または請求項 8 に記載の光信号品質モニタにおいて、

タイミングクロック発生手段は、

伝送路から分岐した光信号から抽出したクロック信号の基本クロック周波数 f_0 (Hz) を f_0/n_1 (Hz) に分周する分周器と、

n_1 、 n_2 を自然数とし、 δT をサンプリングステップ時間としたときに、

$\Delta f = f_0(n_1 + f_0\delta T) / n_1(n_1 + n_2 + f_0\delta T)$ で表されるオセセット周波数 Δf で発振する発振器と、前記分周されたクロック信号と前記発振器の出力とを混合し、周波数 $f_0/n_1 \pm \Delta f$ (Hz) のタイミングクロックを生成するミキサと、

前記ミキサ出力から $f_0/n_1 - \Delta f$ (Hz) または $f_0/n_1 + \Delta f$ (Hz) の周波数成分のみを出力するバンドパスフィルタとを備えたことを特徴とする光信号品質モニタ。

【請求項 10】 請求項 1 に記載の光信号品質モニタにおいて、

サンプリング光パルス発生手段は、

基本クロック周波数 f_0 (Hz) の整数分の 1 のクロック周波数 f_0/m (Hz) を有する同期網クロック信号を入力し、基本クロック周波数の整数分の 1 からオフセット周

波数 Δf (Hz) を加減した周波数 $f_0/n_1 - \Delta f$ (Hz) または $f_0/n_1 + \Delta f$ (Hz) のタイミングクロックを発生するタイミングクロック発生手段と、

前記タイミングクロックを用いて、繰り返し周波数 $f_0/n_1 - \Delta f$ (Hz) または $f_0/n_1 + \Delta f$ (Hz) で、パルス幅が光信号のタイムスロットより十分に狭いサンプリング光パルス列を発生する短光パルス発生手段とを備えたことを特徴とする光信号品質モニタ。

【請求項 11】 請求項 2 または請求項 10 に記載の光信号品質モニタにおいて、

タイミングクロック発生手段は、

クロック周波数 f_0/m (Hz) の同期網クロック信号を基本クロック周波数 f_0 (Hz) の整数分の 1 の周波数 f_0/n_1 (Hz) に逡倍または分周する逡倍器または分周器と、

n_1 、 n_2 を自然数とし、 δT をサンプリングステップ時間としたときに、

$\Delta f = f_0(n_1 + f_0\delta T) / n_1(n_1 + n_2 + f_0\delta T)$ で表されるオセセット周波数 Δf で発振する発振器と、前記逡倍または分周されたクロック信号と前記発振器の出力とを混合し、周波数 $f_0/n_1 \pm \Delta f$ (Hz) のタイミングクロックを生成するミキサと、

前記ミキサ出力から $f_0/n_1 - \Delta f$ (Hz) または $f_0/n_1 + \Delta f$ (Hz) の周波数成分のみを出力するバンドパスフィルタとを備えたことを特徴とする光信号品質モニタ。

【請求項 12】 請求項 2、8、10 のいずれかに記載の光信号品質モニタにおいて、

タイミングクロック発生手段は、

基本クロック周波数 f_0 (Hz) の整数分の 1 の周波数 f_0/n_1 (Hz) から、 n_1 、 n_2 を自然数とし、 δT をサンプリングステップ時間としたときに、

$\Delta f = f_0(n_1 + f_0\delta T) / n_1(n_1 + n_2 + f_0\delta T)$ で表されるオセセット周波数 Δf を加減した周波数 $f_0/n_1 - \Delta f$ (Hz) または $f_0/n_1 + \Delta f$ (Hz) で発振する発振器を備えたことを特徴とする光信号品質モニタ。

【請求項 13】 請求項 8 または請求項 10 に記載の光信号品質モニタにおいて、

伝送路から光信号の一部を分岐する光分岐器を備え、前記光分岐器で分岐された光信号とサンプリング光パルス発生手段から出力されたサンプリング光パルス列とを光合波器で合波する構成であることを特徴とする光信号品質モニタ。

【請求項 14】 請求項 13 に記載の光信号品質モニタにおいて、

光合波器は、光信号およびサンプリング光パルス列をそれぞれ直交する 2 つの偏光成分 ($P_{sig.p}$ 、 $P_{sig.s}$)、

($P_{sam.p}$ 、 $P_{sam.s}$) に分離し、さらにその互いに直交する成分同士 ($P_{sig.p}$ 、 $P_{sam.s}$)、($P_{sig.s}$ 、 $P_{sam.p}$) を偏光合成して 2 つの出力ポートに出力する偏波分離合成手段であり、

前記偏波分離合成手段から出力される 2 系統の偏光合成光に対して、それぞれ相互相関光信号を発生させ、さらに相互相関電気信号に変換する 2 系統の非線形光学材料および光電変換器と、

前記 2 系統の相互相関電気信号を加算して電気信号処理手段に送出する加算回路とを備えたことを特徴とする光信号品質モニタ。

【請求項 15】 請求項 13 に記載の光信号品質モニタにおいて、

光合波器は、光信号およびサンプリング光パルス列をそれぞれ直交する 2 つの偏光成分 ($P_{sig.p}$, $P_{sig.s}$)、($P_{sam.p}$, $P_{sam.s}$) に分離し、さらにその互いに直交する成分同士 ($P_{sig.p}$, $P_{sam.s}$)、($P_{sig.s}$, $P_{sam.p}$) を偏光合成して 2 つの出力ポートに出力する偏波分離合成手段であり、

前記偏波分離合成手段から出力される 2 系統の偏光合成光に対して、それぞれ相互相関光信号を発生させる 2 系統の非線形光学材料と、

前記 2 系統の相互相関光信号のタイミングを合わせて偏光合成して光電変換器に送出する偏波合成手段とを備えたことを特徴とする光信号品質モニタ。

【請求項 16】 請求項 8 または請求項 10 に記載の光信号品質モニタにおいて、

光合波器および非線形光学材料は伝送路に挿入され、伝送路からの光信号とサンプリング光パルス発生手段から出力されたサンプリング光パルス列とを光合波器で合波して非線形光学材料に入力し、

伝送路に挿入され、前記非線形光学材料から出力される光信号と相互相関光信号とを分離し、光信号を伝送路に送出し、相互相関光信号を光電変換器に送出する波長分離手段を備えたことを特徴とする光信号品質モニタ。

【請求項 17】 請求項 16 に記載の光信号品質モニタにおいて、

光合波器は、光信号およびサンプリング光パルス列をそれぞれ直交する 2 つの偏光成分 ($P_{sig.p}$, $P_{sig.s}$)、($P_{sam.p}$, $P_{sam.s}$) に分離し、さらにその互いに直交する成分同士 ($P_{sig.p}$, $P_{sam.s}$)、($P_{sig.s}$, $P_{sam.p}$) を偏光合成して 2 つの出力ポートに出力する偏波分離合成手段であり、

前記偏波分離合成手段から出力される 2 系統の偏光合成光に対して、それぞれ相互相関光信号を発生させ、さらに光信号と相互相関光信号とを分離する 2 系統の非線形光学材料および波長分離手段と、

前記 2 系統の光信号のタイミングを合わせて偏光合成して伝送路に送出する偏波合成手段と、

前記 2 系統の相互相関光信号を相互相関電気信号に変換する 2 系統の光電変換器と、

前記 2 系統の相互相関電気信号を加算して電気信号処理手段に送出する加算回路とを備えたことを特徴とする光信号品質モニタ。

【請求項 18】 請求項 16 に記載の光信号品質モニタにおいて、

光合波器は、光信号およびサンプリング光パルス列をそれぞれ直交する 2 つの偏光成分 ($P_{sig.p}$, $P_{sig.s}$)、($P_{sam.p}$, $P_{sam.s}$) に分離し、さらにその互いに直交する成分同士 ($P_{sig.p}$, $P_{sam.s}$)、($P_{sig.s}$, $P_{sam.p}$) を偏光合成して 2 つの出力ポートに出力する偏波分離合成手段であり、

前記偏波分離合成手段から出力される 2 系統の偏光合成光に対して、それぞれ相互相関光信号を発生させ、さらに光信号と相互相関光信号とを分離する 2 系統の非線形光学材料および波長分離手段と、

前記 2 系統の光信号のタイミングを合わせて偏光合成して伝送路に送出する第 1 の偏波合成手段と、

前記 2 系統の相互相関光信号のタイミングを合わせて偏光合成して光電変換器に送出する第 2 の偏波合成手段とを備えたことを特徴とする光信号品質モニタ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、異なったビットレートのデジタル光信号が伝送される光ファイバ伝送ネットワークにおいて、光信号の信号対雑音比をモニタする光信号品質モニタに関する。

【0002】

【従来の技術】1990 年代に世界的統一ネットワーク階梯構造となった SDH (Synchronous Digital Hierarchy) では、ビットインターリーブパリティと呼ばれるパリティ検査を中継器間 (BIP-8)、多重化端局相互間 (BIP-N×24) でそれぞれ実施することにより、故障区間の同定と切替起動信号を得ている。ここで、N は多重化数を表す STM-N の N であり、156 Mbit/s の STM-1 を基本とし、その整数倍の階梯を STM-N と表す。なお、N=1, 4, 16, 64 が国際的に認知されている。BIP-M は、M ビットおきのパリティ検査を意味し、M ビットの検査ビットが得られる。送信側でフレーム内の信号の M ビット並列のパリティ検査を実行し、その検査ビットを次のフレームに格納して主信号とともに伝送する。受信側では、同様のパリティ検査を行い、次フレームの所定位置に格納された検査ビットと照合することにより伝送誤りを検出する。

【0003】図 18 は、従来の誤り率測定系の構成例を示す。図において、伝送路からの光信号の一部が光分岐器 51-1 で分岐され、光増幅器 52 で増幅され、さらに光分岐器 51-2 で 2 分岐される。光分岐器 51-2 で分岐された一方の光信号はクロック抽出回路 53 に入力され、光信号のビットレート Nf_0 に応じたクロック f_0 が抽出される。光分岐器 51-2 で分岐された他方の光信号は受信回路 54 に入力され、さらにその出力がフレーム検出回路、パリティ検査回路および照合回路からなる誤り率検出回路 55 に入力される。受信回路 54

および誤り率検出回路 55 は、クロック抽出回路 53 で抽出されたクロック f_0 に応じて動作し、光信号の誤り率を測定する。なお、クロック抽出回路 53、受信回路 54、誤り率検出回路 55 は、光信号のビットレートに応じた構成のものが必要である。すなわち、複数のビットレートに対応した誤り率検出を行うためには、各ビットレートに対応した回路を用意する必要があり、単一の回路で対応することはできない。

【0004】ところで、伝送システムの評価を行うには、信号の誤り率を直接測定する方法が一般的である。しかし、この方法では、非常に低い誤り率の場合に測定時間が長くなることになり、作業効率が低くなる問題があった。

【0005】そこで、識別器の閾値を変化させたときに得られる誤り率の傾向から最適動作点での誤り率を推定する方法が考案された（参考文献 1：N.S. Bergano et al., "Margin Measurement in Optical Amplifier Systems", IEEE Photonics Technology Letters, vol. 5, no. 3, pp. 304-306）。図 19 に光信号のアイバタンおよび光強度ヒストグラムを示す。このアイバタンのアイ開口が最大となる時点（識別ポイント）において、識別器の閾値を変化させることにより、2 値伝送の場合の「ハイ」または「1」レベルと、「ロー」または「0」レベルの判別を行い、そのときの誤りの割合を測定する。

【0006】実際には、図 20 に示すようなクロック抽出回路 53、光電変換器 56、電気信号処理手段 57 による測定系を構成し、誤り率の閾値依存性から信号対雑音比に相当する Q 値を求めて評価指標としている。すなわち、伝送路からの光信号の一部を光電変換器 56 で電気信号に変換し、この電気信号とクロック抽出回路 53 で抽出されたクロックをサンプリングオシロスコープのような電気信号処理手段 57 に入力し、図 19 のようなアイバタンおよび光強度ヒストグラムを得る。

【0007】このアイバタンのアイ開口が最大となる時間 t_0 において、信号振幅（例えば電圧値）を $\mu(t_0)$ とし、2 値伝送の場合の「ハイ」または「1」レベルの雑音の標準偏差を $\sigma_1(t_0)$ 、「ロー」または「0」レベルの雑音の標準偏差を $\sigma_0(t_0)$ としたときに、Q(t₀) 値は $Q(t_0) = \mu(t_0) / (\sigma_1(t_0) + \sigma_0(t_0))$ …(1) で定義される。一方、ガウス型の雑音振幅分布を仮定すると、誤り率の低い領域では誤り率 P と Q 値は、 $P = (1 / (Q(2\pi)^{1/2})) \exp(-Q^2/2)$ …(2) のような関係がある。したがって、Q 値が測定できれば、伝送路誤り率が推定できることになる。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかし、従来の Q 値測定系は、図 20 に示すように光信号を電気信号に変換した後に波形をサンプリングして Q 値を求めているので、光電変換器や電気信号処理回路の帯域や処理速度により、対応できる光信号のビットレートが 40 Gbit/s 程度

に制限されていた。

【0009】また、アイ開口が最大となる時点での Q 値を測定するので、異なるビットレートのデジタル光信号には対応できなかった。また、従来の Q 値測定系は、伝送路からモニタ用の光信号を分岐する必要があるもので、伝送路上の光信号に分岐による損失が生じ、信号対雑音比を劣化させる要因になっている。

【0010】本発明は、異なったビットレートのデジタル光信号が伝送される光ファイバ伝送ネットワークにおいて、被測定光信号のビットレートによらず単一の回路で信号対雑音比をモニタすることができる光信号品質モニタを提供することを目的とする。

【0011】また、本発明は、数十 Gbit/s 以上のビットレートの光信号にも対応することができる光信号品質モニタを提供することを目的とする。また、本発明は、伝送路の光信号の信号対雑音比に与える影響を低減することができる光信号品質モニタを提供することを目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】請求項 1 に記載の光信号品質モニタは、光学的手段により光信号のビットレートによらない光強度ヒストグラムから、サンプリング点の振幅値の統計処理値から信号対雑音比をモニタする構成である。以下、その基本構成について説明する。

【0013】図 1 は、請求項 1 に記載の光信号品質モニタの基本構成を示す。図において、伝送路から入力される光信号は、光周波数 ω_{sig} 、基本クロック周波数 f_0 (Hz) の整数倍のビットレート $N \cdot f_0$ (bit/s) ($N = 1, 2, \dots$) を有する。サンプリング光パルス発生手段 1 は、光周波数 ω_{sam} 、基本クロック周波数 f_0 (Hz) の整数分の 1 とオフセット周波数 Δf (Hz) を加減した繰り返し周波数 $f_0/n_1 - \Delta f$ (Hz) (または $f_0/n_1 + \Delta f$ (Hz)) ($n_1 = 1, 2, \dots$) で、パルス幅 $\Delta \tau$ が光信号のタイムスロットより十分に狭い ($\Delta \tau \ll 1/N \cdot f_0$) サンプリング光パルスを発生する。光合波器 2 は、光信号とサンプリング光パルスを合波して非線形光学材料 3 に入力する。

【0014】非線形光学材料 3 は、2 次の非線形光学効果の一つである和周波光発生 (SFG: Sum Frequency Generation) (参考文献 2: 高良 他、「和周波光発生を用いた光サンプリングによる超高速光波形測定法」、電子情報通信学会論文誌、B-I、vol. J75-B-1, no. 5, pp. 372-380, 1992) や差周波光発生 (DFG: Difference Frequency Generation)、3 次の非線形光学効果である四光波混合 (FWM: Four Wave Mixing) (参考文献 3: P.A. Andrekson, Electron. Lett. 27, p. 1440, 1991) を利用し、光信号とサンプリング光パルスの相互相関光信号を発生させる。

【0015】図 2 (a), (b), (c) は、それぞれ SFG, DFG, FWM における光周波数の関係を示す。SFG

は、図 2 (a) に示すように、光周波数 ω_{sig} の光信号と光周波数 ω_{sam} のサンプリング光パルスの 2 光波を 2 次の非線形光学材料に入射すると、和の光周波数 ω_{sfg} ($=\omega_{sam}+\omega_{sig}$) の光が発生する現象である。D F G は、図 2 (b) に示すように、光周波数 ω_{sig} の光信号と光周波数 ω_{sam} のサンプリング光パルスから差の光周波数 ω_{dfg} ($=\omega_{sam}-\omega_{sig}$) の光が発生する現象である。

【0016】 FWM は、一般に 3 つの入射光 (光周波数 $\omega_1, \omega_2, \omega_3$) から新たな光 (光周波数 $\omega_4=\omega_1+\omega_2-\omega_3$) が発生する現象であるが、光サンプリングに応用する場合には 3 種類の光を用いるのは構成が複雑になるので、通常 2 つの光波が縮退 ($\omega_1=\omega_2$) した FWM を利用する。すなわち、 ω_1, ω_2 として光周波数 ω_{sam} のサンプリング光パルスを入射し、 ω_3 として光周波数 ω_{sig} の光信号を入射することにより、図 2 (c) に示すように、光周波数 ω_{fwm} ($=2\omega_{sam}-\omega_{sig}$) の光を発生させる。

【0017】 ここで、サンプリング光パルスの繰り返し周波数が光信号の基本クロック周波数 f_0 の $1/n_1$ に比べて Δf だけ小さいので、サンプリング光パルスは光信号との相対位置をずらしながら掃引することになる。その結果、相互相関光信号は図 1 に示すように変化し、その包絡線は光信号波形の時間軸を拡大した波形となる。この相互相関光信号を受光系で検出することにより、高速光信号の光強度のヒストグラムの測定が可能となる (上記参考文献 2)。

【0018】 すなわち、相互相関光信号を光電変換器 4 で電気信号に変換して電気信号処理手段 5 に入力する。電気信号処理手段 5 では、相互相関電気信号のピーク値の検出および分析を行い、図 3 に示すような光強度のヒストグラムを測定する。そして、この光強度のヒストグラムを構成するサンプリング点のうち、あらかじめ定めた閾値レベル μ_{th1} より高い点群を「レベル 1」とし、また別途定めた閾値レベル μ_{th0} より低い点群を「レベル 0」とし、「レベル 1」と「レベル 0」それぞれのある平均時間内での平均値 μ_1, μ_0 の差 μ と、「レベル 1」と「レベル 0」それぞれの当該平均時間内での標準偏差値の和 ($\sigma_1+\sigma_0$) の比

$$Q=\mu/(\sigma_1+\sigma_0) \quad \dots(3)$$

を信号対雑音比係数として求める (請求項 3)。

【0019】 ここで、上記の閾値レベル μ_{th1}, μ_{th0} を決定する方法の一例について、図 4 を参照して説明する (請求項 4)。まず、電気信号処理手段 5 は、あらかじめ特定の時間内に測定したサンプリング点からレベルのヒストグラムを求め、このヒストグラムのレベル最大値からサンプリング点数を積分し、サンプリング点数 N_{middle} と等しくなったときのレベルを中間値 μ_m とする。なお、サンプリング点数 N_{middle} は、全サンプリング点数を N_{total} 、光信号のデューティ比 (パルス幅と

タイムスロットの比) を D 、マーク率 (デジタル伝送におけるマーク「1」の発生確率) を M としたときに、

$$N_{middle}=N_{total} \times D \times M \quad \dots(4)$$

として求める。また、「レベル 1」の平均値 μ_1 は、

$$\mu_1=2(\mu_m-\mu_0)+\mu_0 \quad \dots(5)$$

と仮定する。

【0020】 次に、上記ヒストグラムにおいてレベル最小値側から最初にサンプリング点数がピーク値となるレベルを「レベル 0」の平均値 μ_0 とする。また、「レベル 0」および「レベル 1」の閾値レベル μ_{th0}, μ_{th1} を

$$\mu_{th0}=\mu_0+\alpha(\mu_1-\mu_0)$$

$$\mu_{th1}=\mu_1-\alpha(\mu_1-\mu_0) \quad \dots(6)$$

と設定する。ただし、 $0<\alpha<0.5$ とする。この (6) 式に (5) 式を代入すると、

$$\mu_{th0}=2\alpha\mu_m+(1-2\alpha)\mu_0$$

$$\mu_{th1}=2(1-\alpha)\mu_m-(1-2\alpha)\mu_0 \quad \dots(7)$$

が得られる。

【0021】 以上の方法で決定した閾値レベル μ_{th0}, μ_{th1} と全測定値から求めた光強度のヒストグラムにより、「レベル 1」と「レベル 0」の平均値 μ_1, μ_0 および標準偏差 σ_1, σ_0 を求め、これらの値から平均的な信号対雑音比係数 (Q 値) を求める。

【0022】 この信号対雑音比係数 Q は、光信号の信号対雑音比に 1 対 1 に対応する物理量である。したがって、この Q 値を求めることにより、伝送してきた光信号の品質を検査することができる。

【0023】 図 5 は、上記方法で求めた平均的な Q 値と、時間 t_0 における Q 値との関係を示す。図より、 α を 0.1 にするとサンプリング点数が減少するため、平均的な Q 値のばらつきが大きくなる。一方、 α が 0.4 以上になるとアイバタンのクロスポイント付近の測定値が含まれるので、平均的な Q 値の値が低くなり測定精度が悪くなる。これに対して、 $0.1<\alpha<0.4$ の場合は、サンプリング点数も十分であり、クロスポイントの影響も回避できるので、平均的な Q 値と時間 t_0 における Q 値の間により相関が得られる。なお、この例では相関係数として 0.99 の高い値が得られている。

【0024】 したがって、(7) 式において、 $0.1<\alpha<0.4$ と設定して各閾値レベル μ_{th0}, μ_{th1} を決定することにより、精度よく伝送路の光信号品質を監視することができる。

【0025】 また、図 6 に示すように、ヒストグラムを構成するサンプリング点のうち、あらかじめ定めた 2 つの領域のうち高いレベル領域内の点群を「レベル 1」とし、低いレベル領域内の点群を「レベル 0」とし、「レベル 1」と「レベル 0」それぞれのある平均時間内での平均値レベルの差 μ' と、「レベル 1」と「レベル 0」それぞれの当該平均時間内での標準偏差値の和 ($\sigma_1+\sigma_0$) の比

$$Q = \mu' / (\sigma_1 + \sigma_0) \quad \dots(8)$$

を信号対雑音比係数として求めてもよい（請求項5）。

【0026】なお、この場合には、例えばあらかじめ特定の時間内に測定したサンプリング点の中で、最大値と最小値をそれぞれ μ_{\max} 、 μ_{\min} とすると、図7に示すように、「レベル1」の範囲を「 μ_{th1} 以上 μ_{\max} 以下」とし、「レベル0」の範囲を「 μ_{\min} 以上 μ_{th0} 以下」とすればよい（請求項6）。

【0027】以上説明したように、本発明は、従来行われていたアイパタン開口の最も良好な時点で光信号のビットレートに等しい周波数でデータの取り込みおよび判別を行う誤り率測定法とは異なるものである。すなわち、本発明の光信号品質モニタは、光信号をサンプリングして光強度のヒストグラムを求め、このヒストグラムから時間平均化した信号対雑音比係数（Q値）をモニタするものであり、基本クロック周波数 f_0 (Hz) の任意の整数倍のビットレート $N \cdot f_0$ (bit/s) の光信号に対応することができる。また、パルス幅の狭いサンプリング光パルスおよび高速応答の非線形光学効果による光領域でのサンプリングを利用することで、従来技術では困難であった数十 Gbit/s 以上の超高速の光信号の品質も検査することができる。

【0028】

【発明の実施の形態】（第1の実施形態：請求項1、7、8、9、13）図8は、本発明の光信号品質モニタの第1の実施形態を示す。

【0029】図において、伝送路から基本クロック周波数 f_0 (Hz) の整数倍のビットレート $N \cdot f_0$ (bit/s)

($N=1, 2, \dots$) を有する光信号が入力され、その光信号の一部が光分岐器 51-1 で分岐される。このとき、伝送路ポートに対するモニタポートの分岐比は、分岐損失による伝送特性劣化を抑圧するためにできるだけ小さい方がよい。光分岐器 51-1 のモニタポートから出力される光信号は、さらに光分岐器 51-2 で2分岐される。

【0030】光分岐器 51-2 で分岐された一方の光信号は、タイミングクロック発生手段 11 に入力され、基本クロック周波数 f_0 (Hz) を抽出し、その整数分の1からオフセット周波数 Δf (Hz) を引いた（または加えた）タイミングクロック $f_0/n_1 - \Delta f$ (Hz)（または $f_0/n_1 + \Delta f$ (Hz)）を発生する。短光パルス発生手段 12 は、このタイミングクロックを用いて、繰返し周波数が $f_0/n_1 - \Delta f$ (Hz)（または $f_0/n_1 + \Delta f$ (Hz)）でパルス幅が光信号のタイムスロットより十分に狭いサンプリング光パルス列を発生する。

【0031】光分岐器 51-2 で分岐された他方の光信号と短光パルス発生手段 12 から出力されたサンプリング

光パルス列は、光合波器 2 で合波されて非線形光学材料 3 に入力する。非線形光学材料 3 は、光信号とサンプリング光パルスの相互相関光信号（SFG、DFG、FWM）を発生させる。この相互相関光信号は、光電変換器 4 で相互相関電気信号に変換されて電気信号処理手段 5 に入力される。電気信号処理手段 5 は、この相互相関電気信号のピーク値の検出および分析を行い、図3に示すようなヒストグラムを測定する。電気信号処理手段 5 では、上述した原理に基づいて信号対雑音比係数 Q を求め、光信号の品質を検査する。これにより、異なったビットレートのデジタル光信号が伝送される光ファイバ伝送ネットワークにおいて、光信号のビットレートによらず、単一の測定系で光信号の品質検査を行うことができる。

【0032】ここで、図1に示す基本構成との対応関係を示す。タイミングクロック発生手段 11 および短光パルス発生手段 12 は、サンプリング光パルス発生手段 1 に対応する。その他の同一符号のものはそのまま対応する。なお、本実施形態では、タイミングクロック発生手段 11 で光信号の基本クロック周波数 f_0 を抽出するために、光分岐器 51-1、51-2 を用いて伝送路の光信号の一部を分岐する構成をとっている。

【0033】図9は、タイミングクロック発生手段の構成例を示す。図9(a)において、基本ビットレートタイミング生成手段 13 は、ビットレート $N \cdot f_0$ の光信号から基本クロック周波数 f_0 の整数分の1のクロック周波数 f_0/n_1 を発生する。発振器 14 は、オフセット周波数 Δf を発生する。ミキサ 15 は、クロック周波数 f_0/n_1 とオフセット周波数 Δf を混合して周波数 $f_0/n_1 \pm \Delta f$ (Hz) のタイミングクロックを生成し、バンドパスフィルタ 18 がミキサ出力から $f_0/n_1 - \Delta f$ (Hz) または $f_0/n_1 + \Delta f$ (Hz) の周波数成分のみを出力する。

【0034】ここで、オフセット周波数 Δf の設定方法について説明する。図10は、光信号とサンプリング光および発生した和周波光の時間軸上の関係を示すタイムチャートである。サンプリング光の繰返し周波数は、光信号の繰返し周波数 f_0 の $1/n_1$ の分周に比べて Δf だけ小さいので、図10に示すように、サンプリング光パルスは光信号との相対位置を毎回 ΔT ずらしながら掃引することになる。この相対位置のずれ ΔT は、サンプリング光の繰返し周期 $T_s (=1/f_s)$ と、光信号の $1/n_1$ の分周の周期 $n_1 T_0$ ($T_0 = 1/f_0$) との差であり、

【0035】

【数1】

$$\Delta T = T_s - n_1 T_0 = \frac{1}{f_s} - \frac{n_1}{f_0} = \frac{n_1 \Delta f}{f_0^2} \quad \dots(9)$$

【0036】と表される。この相対位置のずれ ΔT を光信号の周期 T_0 の n_2 倍とサンプリングのステップ時間 δT の和とする。すなわち、

$$\Delta T = n_2 T_0 + \delta T \quad \dots(10)$$

とする。これは、サンプリングのステップ時間 δT で光信号波形をサンプリングすることを意味する。このとき、(9)式および(10)式より、 Δf は、

【0037】

【数2】

$$\Delta f = \frac{f_0(n_1 + f_0 \delta T)}{n_1(n_1 + n_2 + f_0 \delta T)} \quad \dots(11)$$

【0038】となる。なお、 n_1 、 n_2 は自然数である。したがって、(11)式によりオフセット周波数 Δf を設定することにより、所望のサンプリングステップ量 δT で光信号波形をサンプリングすることができる。また、 n_1 および n_2 の組み合わせを適当に選ぶことにより、オフセット周波数およびタイミングクロックをサンプリング光源や信号処理系の帯域に合わせて設定することができる。

【0039】本発明のサンプリングにおける時間分解能は、主に短光パルス発生手段12で発生するサンプリング光パルスのパルス幅 $\Delta \tau$ と、非線形光学材料3の応答速度に依存する。短光パルス発生手段12としては、モード同期ファイバレーザ、モード同期半導体レーザ、利得スイッチング半導体レーザ等が使用できる。現在、これらの光源を用いることにより、パルス幅1ps以下の短光パルスを発生することができる。非線形光学材料3としては、SFGおよびDFGについて、2次の非線形光学材料であるKTP（分子式 KTiOPO_4 ）や LiNbO_3 等の無機材料、AANP等の有機材料、半導体導波路等が使用できる。FWMについては、3次の非線形光学材料である光ファイバ等の石英系光導波路が使用できる。これらの材料の応答速度はいずれも0.1ps以下である。したがって、以上のものを使用することにより、時間分解能は1ps以下が可能である。なお、これはビットレート数百Gbit/sに相当する。

【0040】光合波器2としては、通常の光カプラを用いてもよいが、波長多重カプラを用いることにより低損失でサンプリング光パルスと光信号を合波することができる。また、サンプリング光パルスと光信号の偏光方向が直交している場合には、偏波ビームスプリッタにより偏波多重するようにしてもよい。

【0041】なお、非線形光学効果としてSFGまたはDFGを利用する場合には、光信号とサンプリング光パルスの偏光方向により使用できる非線形光学材料が異なる。両光の偏光方向が平行の場合には、2つの基本光の偏光が平行の時に効率よく相互相関光が発生する「タイプI位相整合」を行う2次の非線形光学材料を用いる必要がある。一方、両光の偏光方向が直交の場合には、2

つの基本光の偏光が直交の時に効率よく相互相関光が発生する「タイプII位相整合」を行う2次の非線形光学材料を用いる必要がある（上記参考文献2）。非線形光学効果としてFWMを利用する場合には、効率よく相互相関光を発生させるためには、光信号とサンプリング光パルスの偏光方向を平行に設定する必要がある。

【0042】また、使用する非線形光学材料3の変換効率が不十分であれば、光合波器2の前後に配置する光増幅器で光信号およびサンプリング光パルスのピークパワーを増幅すればよい。光増幅器としては、希土類を添加した希土類添加ファイバを用いた光増幅器や半導体レーザ増幅器を用いることができる。

【0043】また、非線形光学材料3の出力光には、相互相関光信号である和周波光（または差周波光または四光波混合光）以外にも、光信号およびサンプリング光パルスが含まれる。また、条件によっては、光信号やサンプリング光パルスの第2次高調波も発生することがある。これらの光が測定する相互相関光信号の信号対雑音比を劣化させる場合には、非線形光学材料3と光電変換器4との間に波長フィルタ32を挿入し、相互相関光信号のみを選択すればよい。

【0044】（第2の実施形態：請求項1、7、10、11、13）図1.1は、本発明の光信号品質モニタの第2の実施形態を示す。本実施形態の特徴は、第1の実施形態のタイミングクロック発生手段11に代えて、基本クロック周波数 f_0 の整数分の1のクロック周波数 f_0/m （ $m=1, 2, \dots$ ）を有する同期網クロック信号から、 $f_0/n_1 - \Delta f$ （または $f_0/n_1 + \Delta f$ ）のタイミングクロックを生成するタイミングクロック発生手段16を用いる構成にある。なお、オフセット周波数 Δf は上記の(11)式に基づいて設定すればよい。その他の構成は第1の実施形態と同様である。

【0045】タイミングクロック発生手段16の構成は、図9(b)に示すように、ビットレート f_0/m の網同期クロック信号から、基本クロック周波数 f_0 の整数分の1のクロック周波数 f_0/n_1 を発生する基本ビットレートタイミング生成手段17を用いればよい。

【0046】また、第1の実施形態のタイミングクロック発生手段11（図9(a)）および第2の実施形態のタイミングクロック発生手段16（図9(b)）に代えて、図9(c)に示すように、基本クロック周波数の整数分の1のクロック周波数 f_0/n_1 から、(11)式のオフセット周波数 Δf を加減したタイミングクロック $f_0/n_1 - \Delta f$ または $f_0/n_1 + \Delta f$ を発振する発振器をタイミングクロック発生手段として用いてもよい（請求項12）。

【0047】（第3の実施形態：請求項1、7、8、13、14）図1.2は、本発明の光信号品質モニタの第3の実施形態を示す。本発明で用いる非線形光学効果は一般に偏光依存性を有しており、入力する光信号の偏光状態に応じて発生する相互相関光信号パワーが変化する。本

実施形態は、この偏光依存性を除去する構成になっている。

【0048】すなわち、第1の実施形態における光合波器2として、入力および出力が2ポートずつある偏波ビームスプリッタ21を用い、各入力ポートに光信号とサンプリング光パルス列を入力し、各出力ポートに非線形光学材料3-1、3-2、波長フィルタ32-1、32-2、光電変換器4-1、4-2を接続し、各光電変換器から出力される相互相関電気信号を加算回路22で加算して電気信号処理手段5に入力する構成である。

【0049】ここで、偏波ビームスプリッタ21に入力するサンプリング光パルス列の偏光は、偏波ビームスプリッタ21の偏光主軸に対して45度傾いた直線偏光に設定する。このとき、偏波ビームスプリッタ21に入力された光信号とサンプリング光パルス列は、それぞれ直交する2つの偏光成分 ($P_{sig.p}$, $P_{sig.s}$)、($P_{sam.p}$, $P_{sam.s}$) に分離される。そして、各出力ポートには2光の互いに直交する成分同士 ($P_{sig.p}$, $P_{sam.s}$)、($P_{sig.s}$, $P_{sam.p}$) が偏光合成されて出力される。各出力ポートに出力された光信号およびサンプリング光パルス列は、それぞれ個別に設けられた非線形光学材料3-1、3-2で相互相関光信号に変換され、さらに光電変換器4-1、4-2で相互相関電気信号に変換され

$$P_{int} = \eta P_{sig.p} P_{sam.s} + \eta P_{sig.s} P_{sam.p} \quad \dots(14)$$

となる。(14)式に(12)式および(13)式を代入すると、

$$P_{int} = 0.5 \eta P_{sig} P_{sam} \quad \dots(15)$$

となる。この(15)式は、2系統の相互相関光信号の和は、入力される光信号の偏光状態に依存しないことを意味する。

【0052】ただし、偏波ビームスプリッタ21の分岐比のずれや、2つの非線形光学材料の変換効率の個体差により(15)式が成立せず、わずかに偏光依存性が生じる場合もある。この場合には、加算された相互相関電気信号のレベルが光信号の偏光状態に依存しないように、加算回路22において2系統の相互相関電気信号のレベルに適当に重み付けを行えばよい。

【0053】このような構成で信号対雑音比系列をモニタすることにより、光信号のビットレートによらず、かつ光信号の偏光状態によらずに安定した光信号の品質検査を行うことができる。

【0054】なお、本実施形態においても、タイミングクロック発生手段11に代えて、第2の実施形態と同様に、ビットレート f_0/m の網同期クロック信号から $f_0/n_1 - \Delta f$ (または $f_0/n_1 + \Delta f$) のタイミングクロックを生成するタイミングクロック発生手段16を用いてもよい(請求項10)。また、上述のように発振器のみで構成されるタイミングクロック発生手段を用いてもよい(請求項12)。

【0055】(第4の実施形態：請求項1、7、8、13、15) 図13は、本発明の光信号品質モニタの第4の

る。これら2系統の相互相関電気信号は、加算回路22で加算されて電気信号処理手段5に入力され、第1の実施形態と同様に処理して信号対雑音比係数Qを求め、光信号の品質を検査する。

【0050】本実施形態では、サンプリング光パルス列の偏光を偏波ビームスプリッタ21の偏光主軸に対して45度傾いた直線偏光とすることにより、偏波ビームスプリッタ21以降の2つの偏光成分 $P_{sam.p}$, $P_{sam.s}$ を等しくしている。すなわち、サンプリング光パルス列の全パワーを P_{sam} とすると、

$$P_{sam.p} = P_{sam.s} = 0.5 P_{sam} \quad \dots(12)$$

となる。一方、光信号は、偏波ビームスプリッタ21に入射する時点の偏光状態が固定されていない。したがって、光信号は偏波ビームスプリッタ21により、任意のパワー比の2つの偏光成分 $P_{sig.p}$, $P_{sig.s}$ に分離される。ただし、これらの2成分の和は一定であり、光信号の全パワーを P_{sig} とすると、

$$P_{sig.p} + P_{sig.s} = P_{sig} \quad \dots(13)$$

となる。

【0051】ここで、非線形光学効果の変換効率を η とすると、非線形光学材料3-1、3-2で発生する相互相関光信号のパワーの合計 P_{int} は、

実施形態を示す。本実施形態の特徴は、第3の実施形態の加算回路22に代えて、2系統の相互相関光信号のタイミングを光遅延手段23で合わせ、偏波ビームスプリッタ24で偏波合成して光電変換器4に入力する構成にある。その他の構成は第3の実施形態と同様である。

【0056】(第5の実施形態：請求項1、7、10、16) 図14は、本発明の光信号品質モニタの第5の実施形態を示す。第1～第4の実施形態では、伝送路の光信号の品質を検査するために、光分岐器51-1により光信号の一部を分岐させる必要があり、伝送路の光信号の損失が避けられない。また、この光信号損失を最小限に抑えるためにモニタ系への分岐比を低くすると、光増幅器で増幅しても信号対雑音比が劣化し、十分な相互相関光信号が得られない。

【0057】本実施形態の特徴は、伝送路にサンプリング光パルス列を入力して相互相関光信号を発生させ、光信号と相互相関光信号を波長分離することにより、伝送路の光信号に与える損失を低減する構成にある。

【0058】すなわち、タイミングクロック発生手段16および短光パルス発生手段12により、ビットレート f_0/m の網同期クロック信号から繰返し周波数 $f_0/n_1 - \Delta f$ (または $f_0/n_1 + \Delta f$) のサンプリング光パルス列を発生する。一方、伝送路中に光合波器2、非線形光学材料3、波長フィルタ33を挿入し、上流側の伝送路から送られてきた光信号とサンプリング光パルス列を光合波器2で合波して非線形光学材料3に入力

し、相互相関光信号を発生させる。

【0059】非線形光学材料3の出力光は、光信号（光周波数 ω_{sig} ）、サンプリング光パルス（光周波数 ω_{sam} ）、相互相関光信号である和周波光（光周波数 $\omega_{sfg} = \omega_{sam} + \omega_{sig}$ ）または差周波光（光周波数 $\omega_{sfg} = \omega_{sam} - \omega_{sig}$ ）または四光波混合光（光周波数 $\omega_{fwm} = 2\omega_{sam} - \omega_{sig}$ ）である。また、条件によっては、光信号の第2次高調波（光周波数 $2\omega_{sig}$ ）やサンプリング光パルスの第2次高調波（光周波数 $2\omega_{sam}$ ）が発生することもある。波長フィルタ33は、これらの光から光信号と相互相関光信号を個別に異なるポートに分離する。そして、分離した光信号を下流の伝送路に送出し、相互相関光信号を光電変換器4に入力して相互相関電気信号に変換し、電気信号処理手段5で第1の実施形態と同様に処理して信号対雑音比係数Qを求め、光信号の品質を検査する。

【0060】このような構成で信号対雑音比系列をモニタすることにより、光信号のビットレートによらず、かつ伝送路の光信号の信号対雑音比を劣化させることなく、光信号の品質検査を行うことができる。

【0061】（第6の実施形態：請求項1, 7, 10, 16, 17）図15は、本発明の光信号品質モニタの第6の実施形態を示す。本実施形態の特徴は、第3の実施形態と第5の実施形態を組み合わせた構成にある。すなわち、光信号の偏光状態に依存せず、かつ伝送路の光信号の損失を低減する構成になっている。

【0062】上流側の伝送路から送られてきた光信号とサンプリング光パルス列を偏波ビームスプリッタ21に異なる入力ポートから入射する。このとき、サンプリング光パルス列の偏光は、偏波ビームスプリッタ21の偏光主軸に対して45度傾いた直線偏光に設定する。偏波ビームスプリッタ21では、光信号とサンプリング光パルス列はそれぞれ直交する2つの偏光成分（ $P_{sig,p}$, $P_{sig,s}$ ）、（ $P_{sam,p}$, $P_{sam,s}$ ）に分離され、2光の互いに直交する成分同士（ $P_{sig,p}$, $P_{sam,s}$ ）、（ $P_{sig,s}$, $P_{sam,p}$ ）が偏光合成されて異なる出力ポートに出力される。

【0063】各出力ポートに出力された光信号およびサンプリング光パルス列は、それぞれ個別に設けられた非線形光学材料3-1, 3-2で相互相関光信号に変換され、さらに波長フィルタ33-1, 33-2でそれぞれ光信号と相互相関光信号に分離される。分離された2系統の光信号は、光遅延手段25でタイミングを合わせ、偏波ビームスプリッタ26で偏波合成して下流側の伝送路に送出する。一方、分離された2系統の相互相関光信号は、それぞれ光電変換器4-1, 4-2で相互相関電気信号に変換され、さらに加算回路22で加算されて電気信号処理手段5に入力され、第1の実施形態と同様に処理して信号対雑音比係数Qを求め、光信号の品質を検査する。

【0064】このような構成で信号対雑音比系列をモニタすることにより、光信号のビットレートによらず、かつ伝送路の光信号の信号対雑音比を劣化させることなく、さらに光信号の偏光状態によらずに安定した光信号の品質検査を行うことができる。

【0065】（第7の実施形態：請求項1, 7, 10, 16, 18）図16は、本発明の光信号品質モニタの第7の実施形態を示す。本実施形態の特徴は、第4の実施形態と第5の実施形態を組み合わせた構成にある。すなわち、光信号の偏光状態に依存せず、かつ伝送路の光信号の損失を低減する構成になっている。

【0066】本実施形態では、第6の実施形態の加算回路22に代えて、2系統の相互相関光信号のタイミングを光遅延手段23で合わせ、偏波ビームスプリッタ24で偏波合成して光電変換器4に入力する構成である。その他の構成は第6の実施形態と同様である。

【0067】（第8の実施形態：請求項2）図17は、本発明の光信号品質モニタの第8の実施形態を示す。図において、伝送路から基本クロック周波数 f_0 (Hz)の整数倍のビットレート $N \cdot f_0$ (bit/s) ($N=1, 2, \dots$)を有する光信号が入力され、その光信号の一部が光分岐器51で分岐される。このとき、伝送路ポートに対するモニタポートの分岐比は、分岐損失による伝送特性劣化を抑圧するためにできるだけ小さい方がよい。光分岐器51で分岐された光信号は、光電変換器61で電気信号に変換されて電気信号処理手段62に入力される。なお、光電変換器61に入力される光信号の強度が足りなければ、光増幅器を用いて増幅すればよい。

【0068】タイミングクロック発生手段63は、基本クロック周波数 f_0 (Hz)の整数分の1からオフセット周波数 Δf (Hz)を加減した周波数 $f_0/n_1 - \Delta f$ (Hz)または $f_0/n_1 + \Delta f$ (Hz)のタイミングクロックを発生する。なお、タイミングクロック発生手段63は、図9(a), (b)に示した構成または図9(c)に示した発振器のみの構成のいずれでもよい（請求項9, 11, 12）。なお、図9(a)の構成をとる場合には、光分岐器51と光電変換器61との間に光分岐器を配置し、分岐した光信号をタイミングクロック発生手段63に入力する。また、図9(b)の構成をとる場合には、同期網クロック信号をタイミングクロック発生手段63に入力する。

【0069】電気信号処理手段62は、このタイミングクロックを用いて電気信号をサンプリングして光強度のヒストグラムを測定する。そして、そのヒストグラムを構成するサンプリング点から「レベル1」と「レベル0」それぞれのある平均時間内での平均値レベルの差と、「レベル1」と「レベル0」それぞれの当該平均時間内での標準偏差値の和の比から時間平均的なQ値を求め、光信号の品質を検査する。

【0070】本実施形態の特徴は、図1および上記の各実施形態に示す光段でのサンプリングの代わりに、電気

段でのサンプリングを行うところにある。本実施形態の構成でも、上記の各実施形態と同様に任意のビットレートの光信号の品質監視を行うことができる（請求項 3 ～ 6）。ただし、対応できる光信号のビットレートは、光電変換器や電気信号処理手段の帯域や処理速度により、数十 Gbit/s 程度に制限される。しかし、最高ビットレートがこの制限を越えないことがわかっている光ファイバ伝送ネットワークに対しては適用可能である。

【0071】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の光信号品質モニタは、光信号をサンプリングして光強度のヒストグラムを求め、このヒストグラムより時間平均化した信号対雑音比係数（Q 値）をモニタするものであり、また光領域でのサンプリングを利用することで、従来技術では困難であった数十 Gbit/s 以上の超高速の光信号の品質を検査することができる。すなわち、1 Mbit/s 級から 100 Gbit/s 級の広範囲にわたる複数のビットレートの信号の品質を、単一のモニタ回路でモニタすることができる。

【0072】また、数十 Gbit/s 程度までの光信号の品質検査には、電気段でのサンプリングを行う構成によっても信号対雑音比係数（Q 値）をモニタすることが可能である。

【0073】なお、光増幅器を中継器として用いた光ファイバ伝送ネットワークでは、信号ビットレートを柔軟に選択することができるが、本発明の光信号品質モニタはこのような光ファイバ伝送ネットワークにおける光信号の品質をモニタすることができる。また、サンプリング光パルス発生手段が対応できる範囲でビットレートを拡大または改変することにより、SDH ばかりでなく PDH 信号を伝送する伝送路にも適用が可能である。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の光信号品質モニタの基本構成を示すブロック図。

【図 2】SFG、DFG、FWM における光周波数の関係を示す図。

【図 3】電気信号処理手段で測定される光強度ヒストグラムのレベルの設定法を説明する図。

【図 4】閾値レベルの決定法を説明する図。

【図 5】平均的な Q 値と時間 t_0 における Q 値との関係を示す図。

【図 6】電気信号処理手段で測定される光強度ヒストグラムのレベルの設定法を説明する図。

【図 7】閾値レベルの決定法を説明する図。

【図 8】本発明の光信号品質モニタの第 1 の実施形態を示すブロック図。

【図 9】タイミングクロック発生手段の構成例を示すブロック図。

【図 10】光信号とサンプリング光および発生した和周波光の時間軸上の関係を示すタイムチャート。

【図 11】本発明の光信号品質モニタの第 2 の実施形態を示すブロック図。

【図 12】本発明の光信号品質モニタの第 3 の実施形態を示すブロック図。

【図 13】本発明の光信号品質モニタの第 4 の実施形態を示すブロック図。

【図 14】本発明の光信号品質モニタの第 5 の実施形態を示すブロック図。

【図 15】本発明の光信号品質モニタの第 6 の実施形態を示すブロック図。

【図 16】本発明の光信号品質モニタの第 7 の実施形態を示すブロック図。

【図 17】本発明の光信号品質モニタの第 8 の実施形態を示すブロック図。

【図 18】従来の誤り率測定系の構成例を示すブロック図。

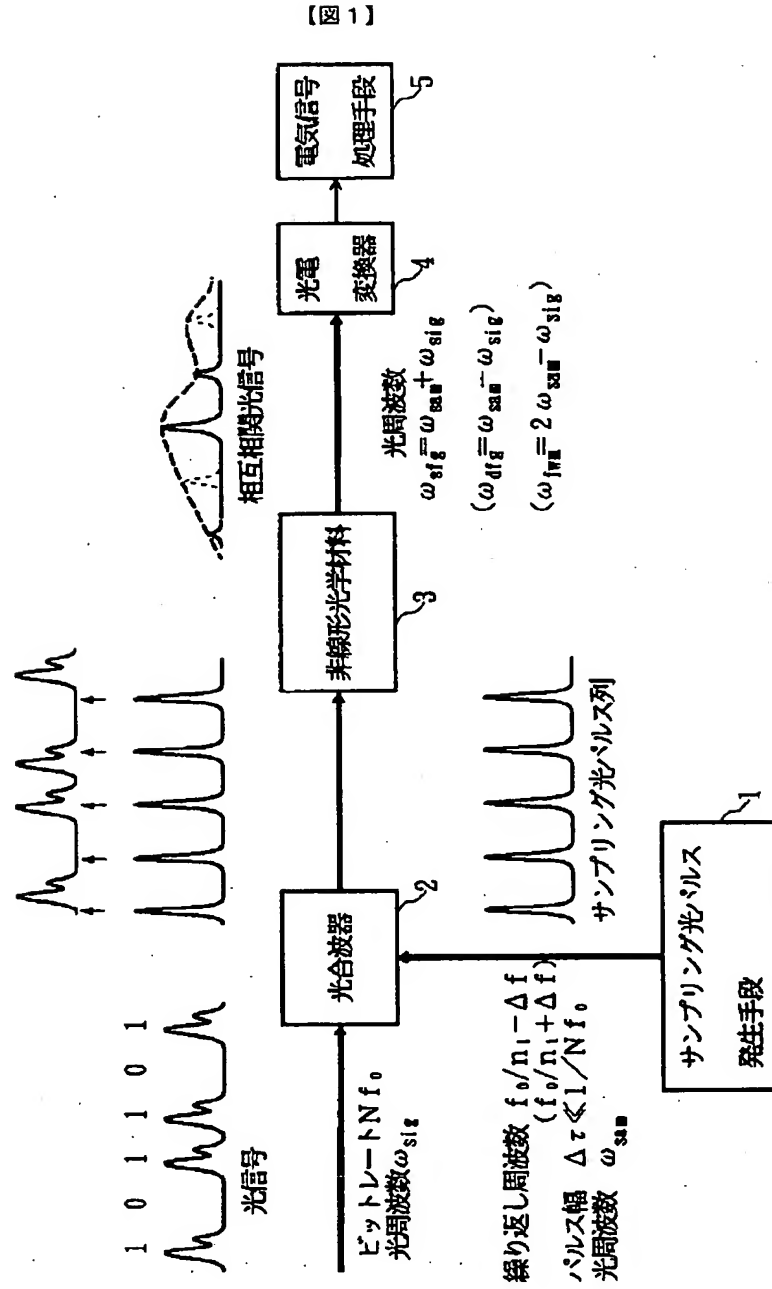
【図 19】光信号のアイバタンおよび光強度ヒストグラムを示す図。

【図 20】光信号のアイバタンの測定系を示すブロック図。

【符号の説明】

- 1 サンプリング光パルス発生手段
- 2 光合波器
- 3 非線形光学材料
- 4 光電変換器
- 5 電気信号処理手段
- 11、16 タイミングクロック発生手段
- 12 短光パルス発生手段
- 13、17 基本ビットレートタイミング生成手段
- 14 発振器
- 15 ミキサ
- 18 バンドパスフィルタ
- 21、24、26 偏波ビームスプリッタ
- 22 加算回路
- 23、25 光遅延手段
- 32、33 波長フィルタ
- 51 光分岐器
- 52 光増幅器
- 61 光電変換器
- 62 電気信号処理手段
- 63 タイミングクロック発生手段

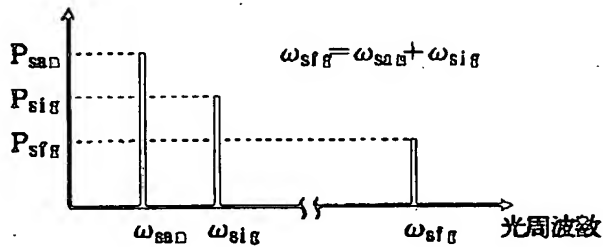
本発明の光信号品質モニタの基本構成



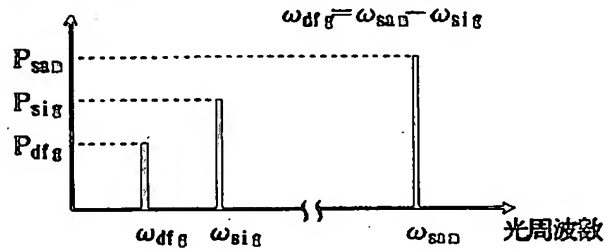
【図2】

SFG, DFG, FWMにおける光周波数の関係

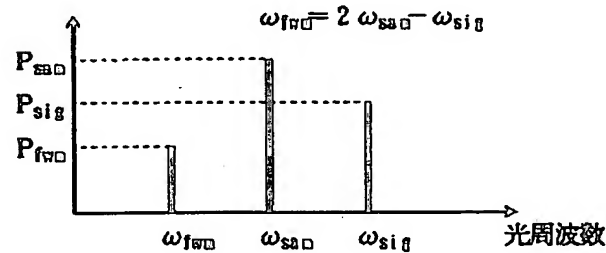
(a) 和周波光発生 (SFG)



(b) 差周波光発生 (DFG)

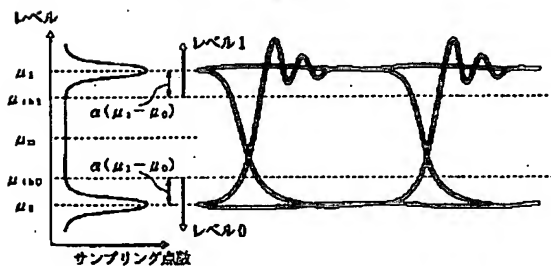


(c) 四光波混合 (FWM)



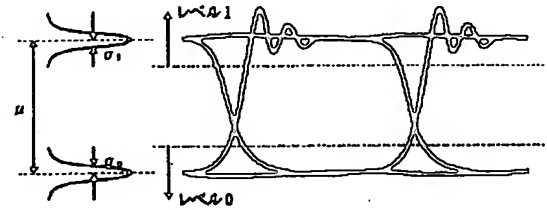
【図4】

閾値レベルの決定法



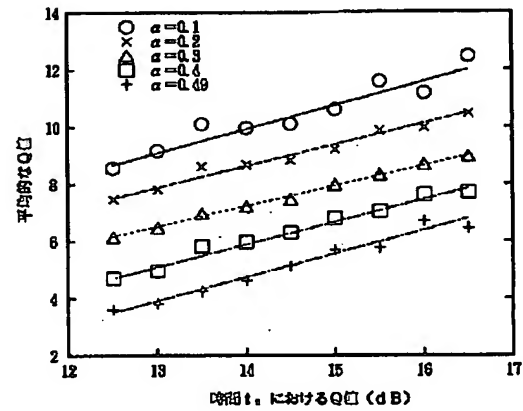
【図3】

電気信号処理手段で測定される光強度ヒストグラムのレベルの設定法



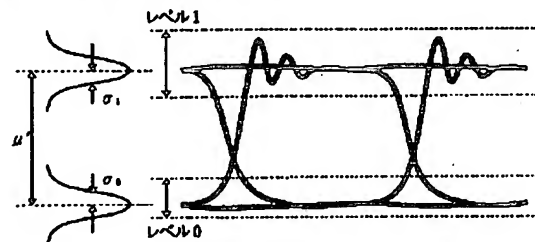
【図5】

平均的なQ値と時間t。におけるQ値との関係

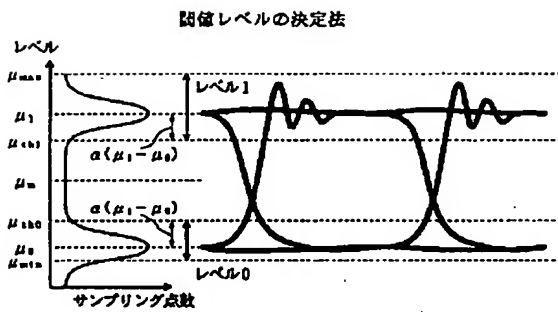


【図6】

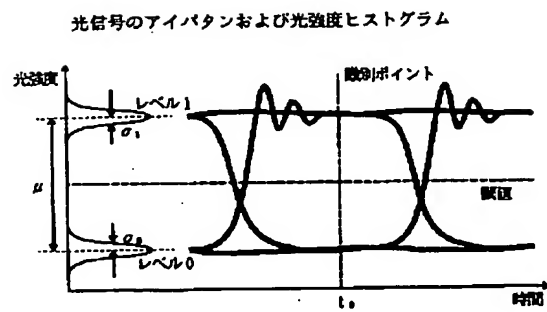
電気信号処理手段で測定される光強度ヒストグラムのレベルの設定法



【図 7】



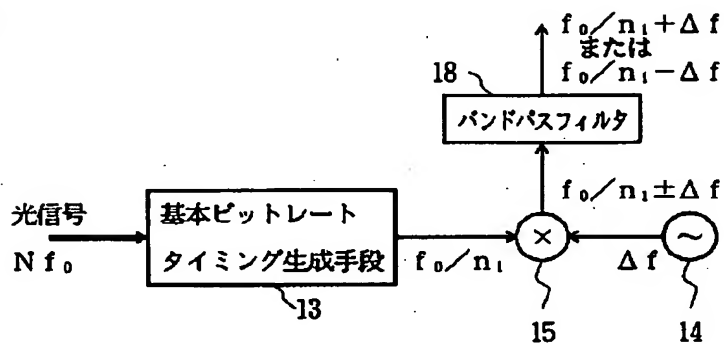
【図 19】



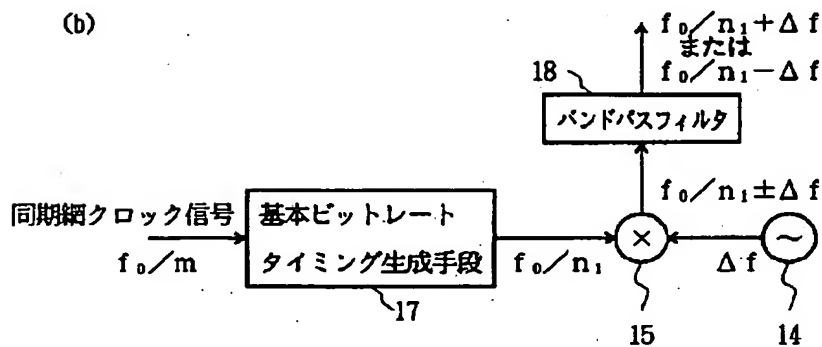
【図 9】

タイミングクロック発生手段の構成例

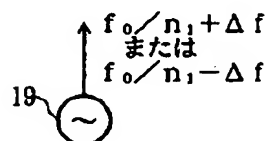
(a)



(b)

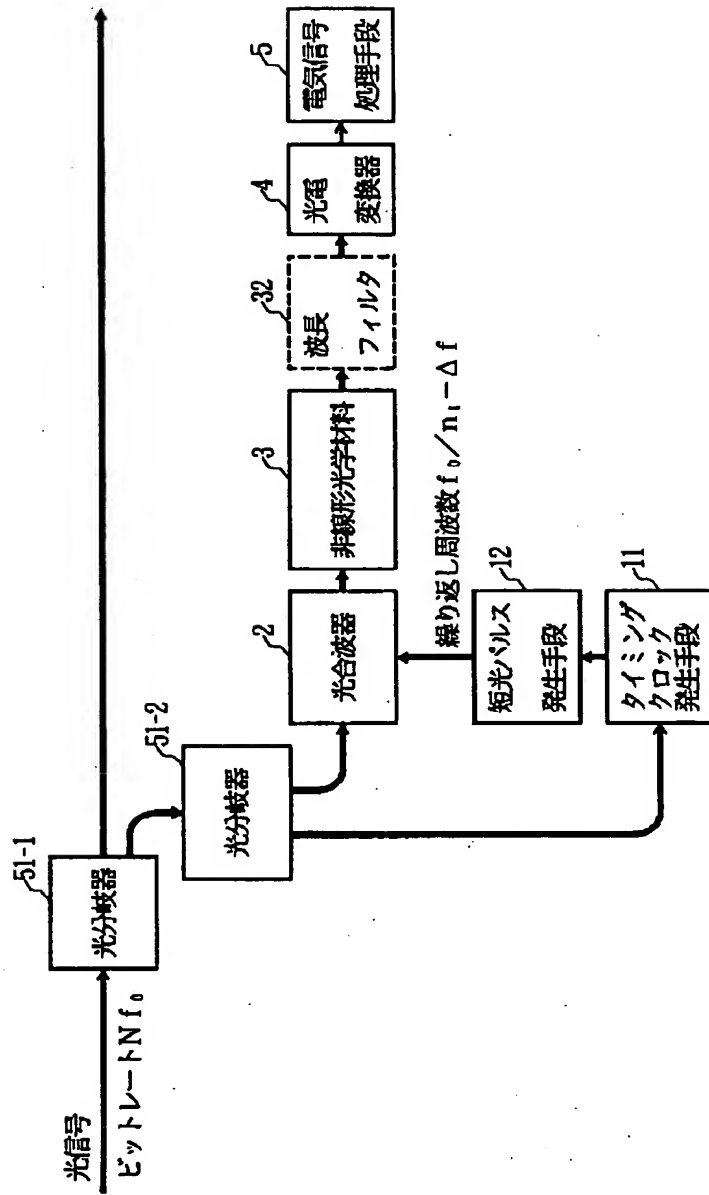


(c)



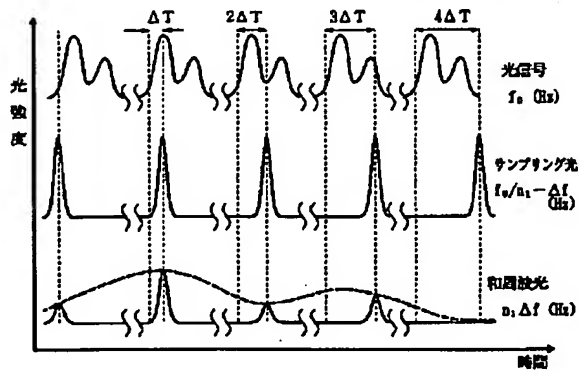
本発明の光信号品質モニタの第1の実施形態

【図 8】



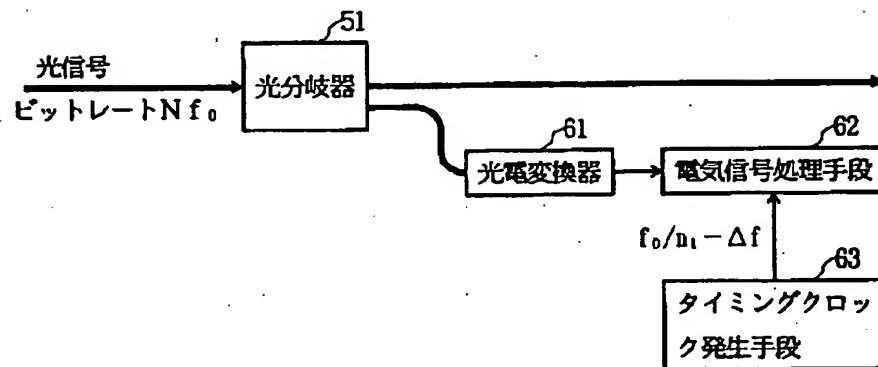
【図 10】

光信号とサンプリング光および発生した和周波光の時間軸上の関係



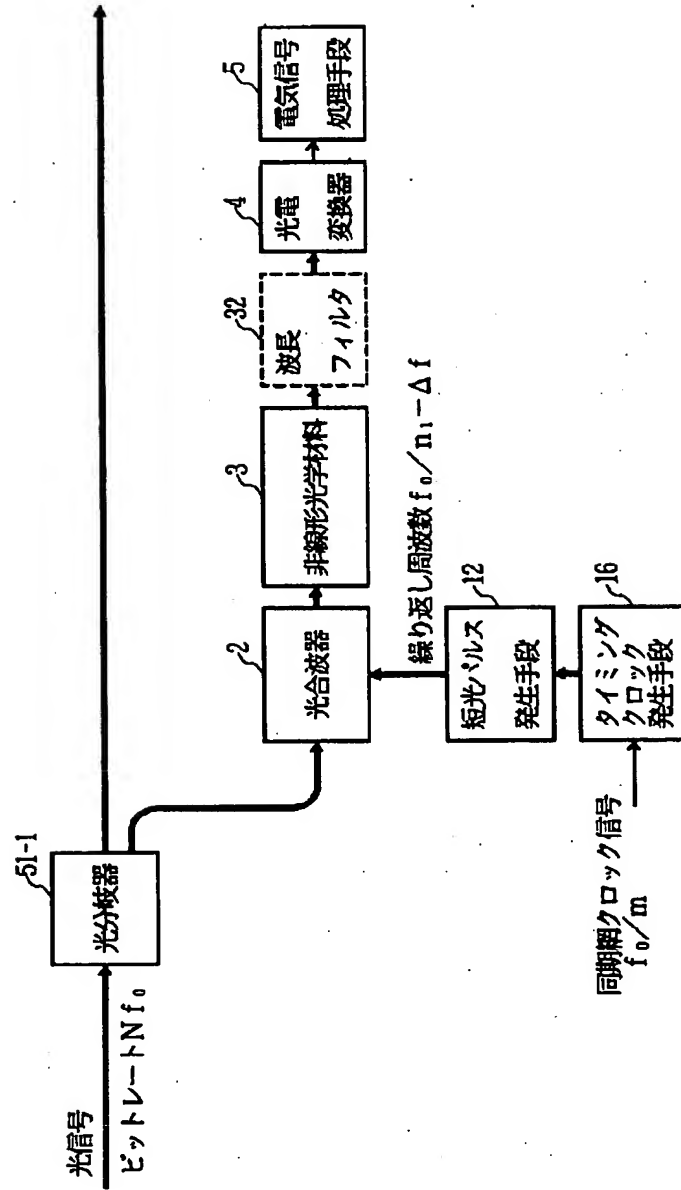
【図 17】

本発明の光信号品質モニタの第 8 の実施形態



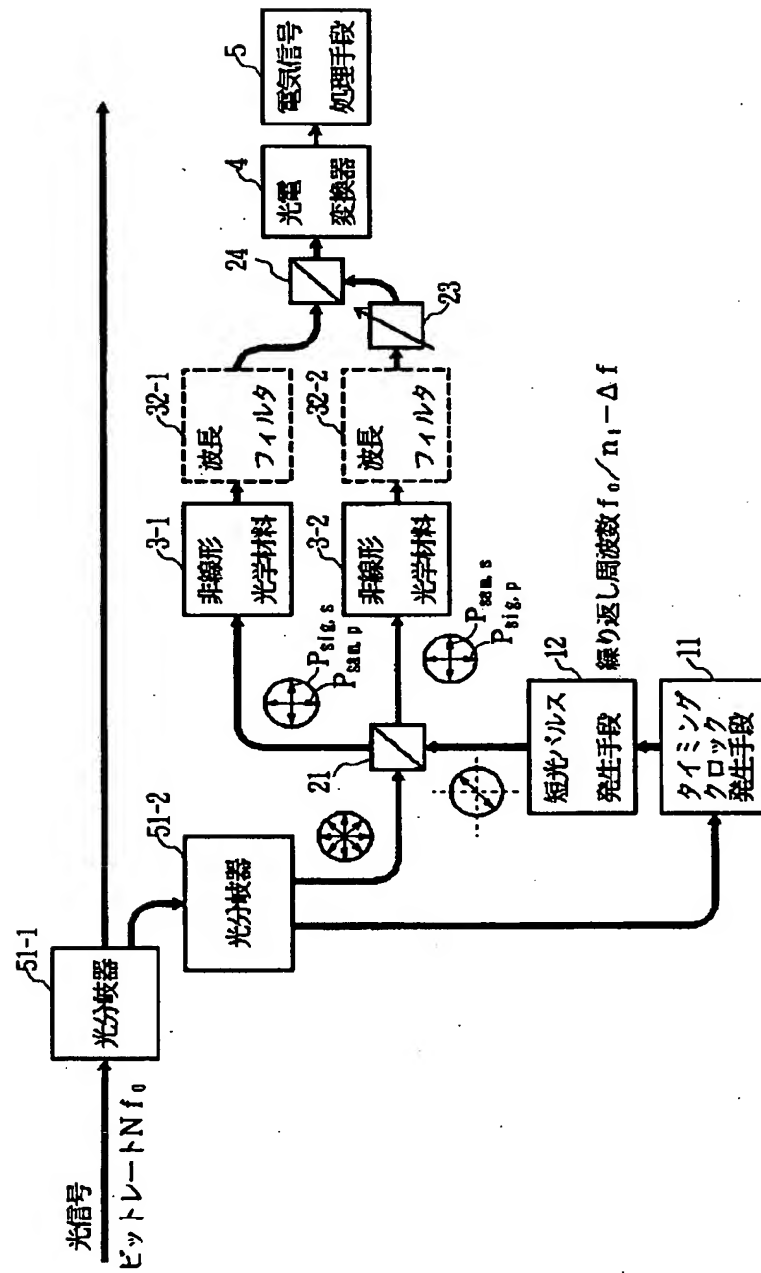
【図 1 1】

本発明の光信号品質モニタの第 2 の実施形態



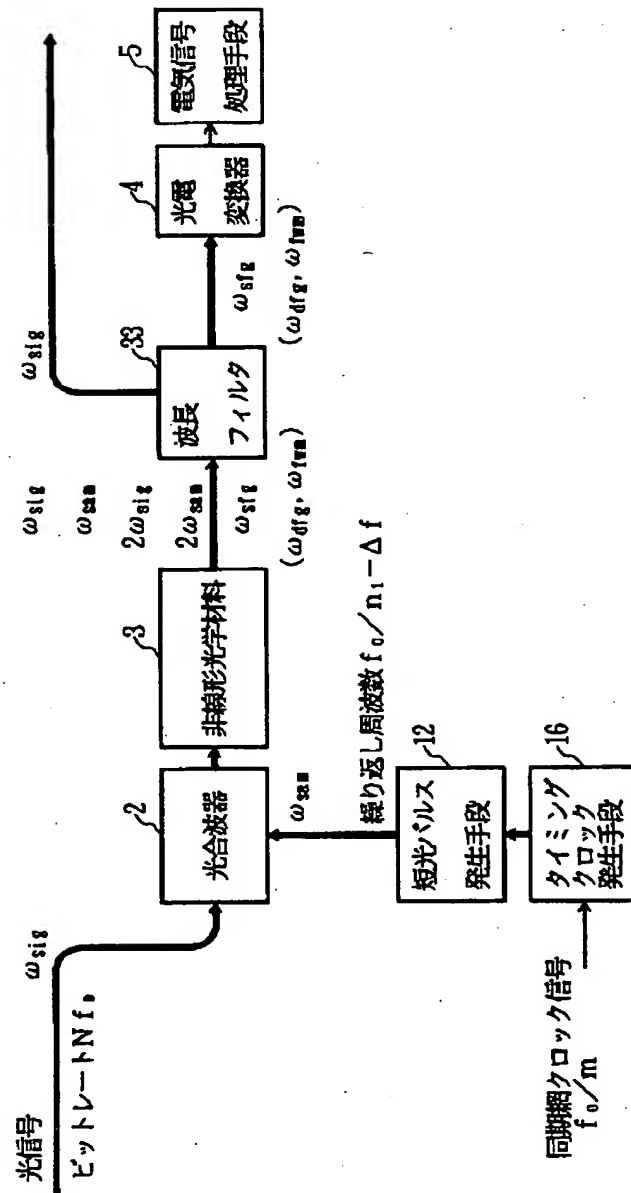
【図 13】

本発明の光信号品質モニタの第 4 の実施形態

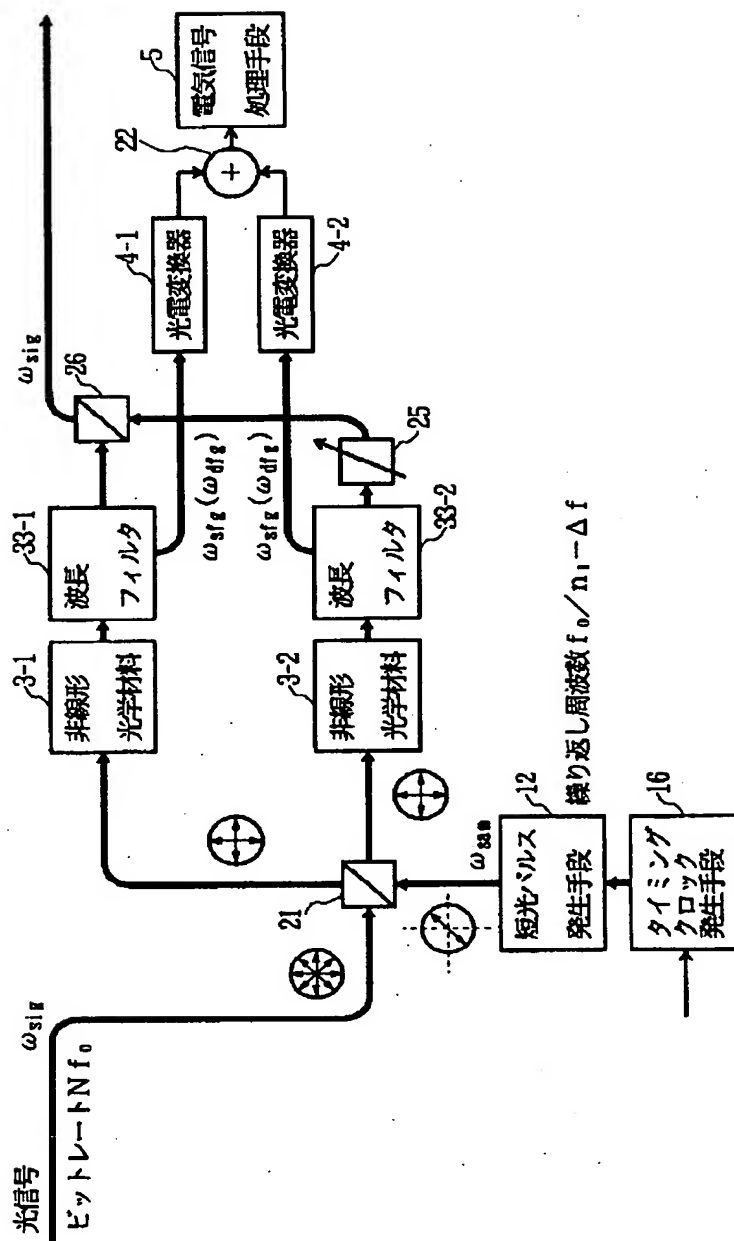


【図 14】

本発明の光信号品質モニタの第5の実施形態

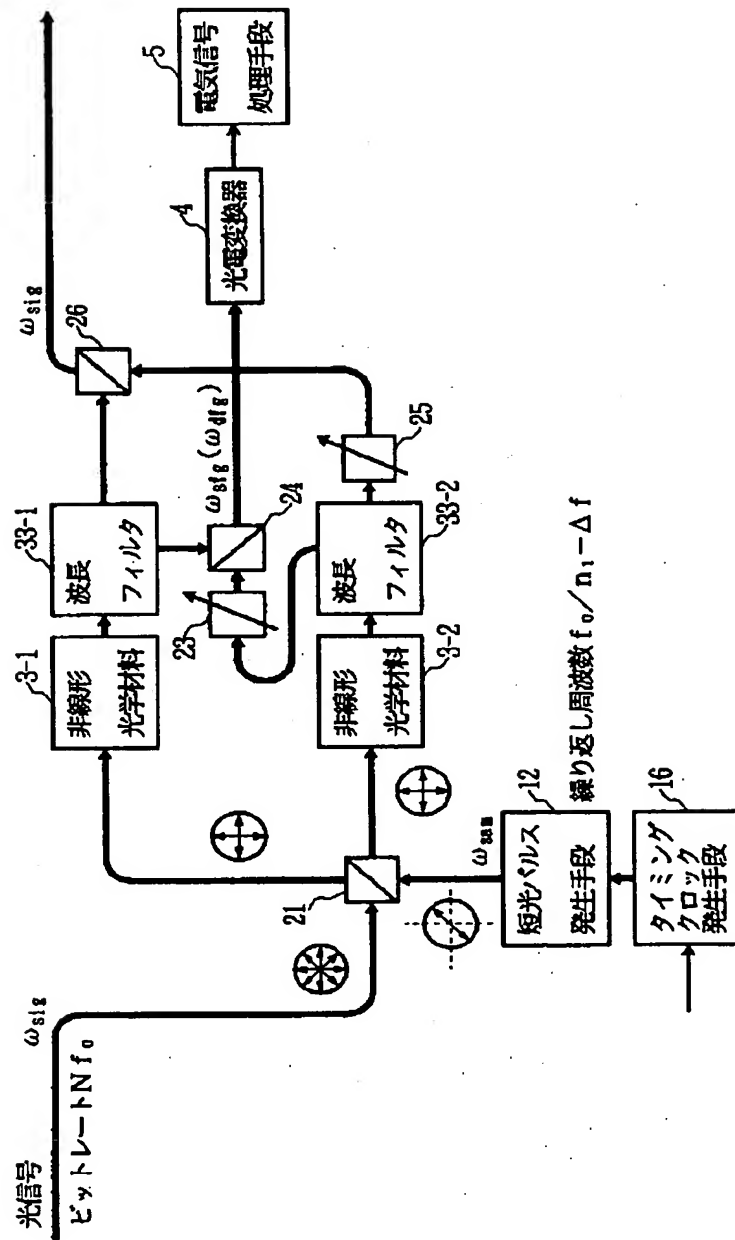


本発明の光信号品質モニタの第6の実施形態



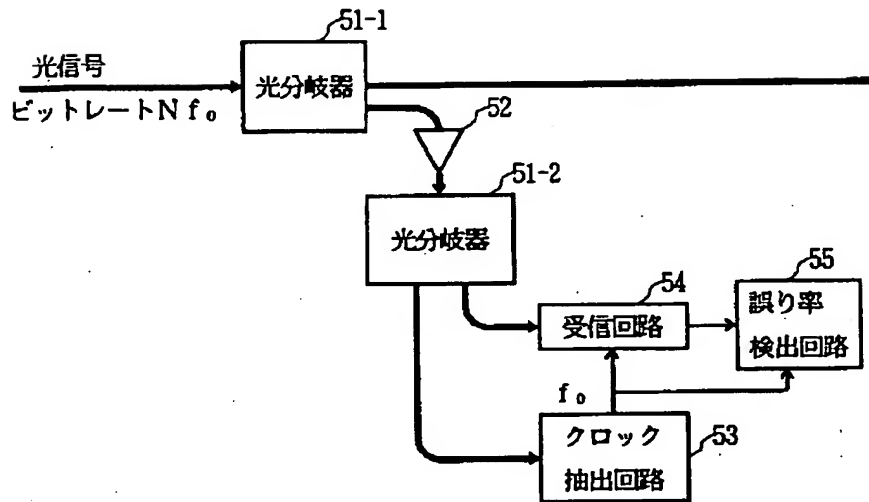
【図 16】

本発明の光信号品質モニタの第 7 の実施形態



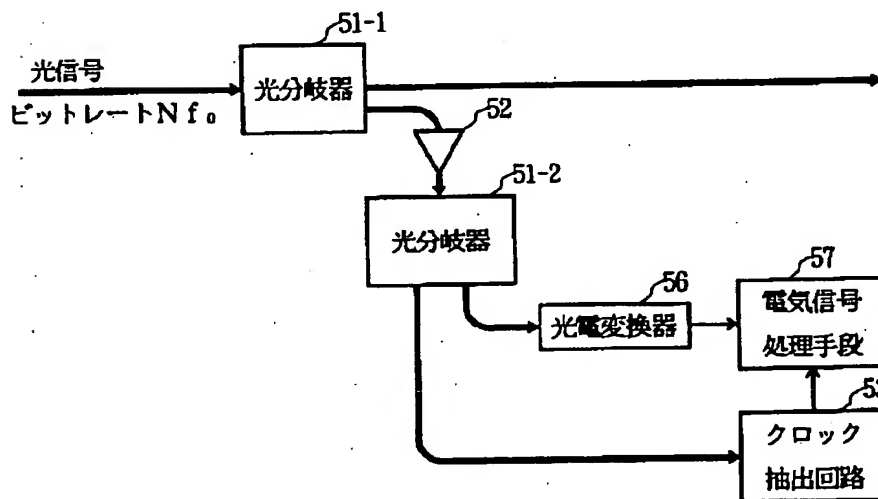
【図 18】

従来の誤り率測定系の構成例



【図 20】

光信号のアイバタンの測定系



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 6

H04L 25/02

識別記号

302

F1